

# ボンテラン改良土の 河川堤防への適用に ついて

東北大学大学院環境科学研究科  
教授 高橋 弘

ボンテラン工法研究会  
テクニカルアドバイザー 森 雅人

# 1. 適切な堤体材料とは

- ・改訂新版、旧建設省河川砂防技術基準(案)  
同解説、設計編
- ・河川土工マニュアル
- ・独立行政法人土木研究所  
建設汚泥再利用マニュアル

よ  
り  
典

河川堤防は河川水から堤内地を遮断するために設けられた構造物であり、土構造物である以上、常に水の浸入を受けることになる。**このため、河川堤防は浸水に対する耐久性が第一義に求められる。**

### 【適切な堤体材料とは】

- ・**湿潤・乾燥等の環境変化に対して安定していること**
- ・腐植土等の高有機質分を含まないこと
- ・施工時に締固めが容易であること

また、**浸透に対する安全に関しては、出来るだけ不透水性であること。**

土堤を原則としている河川堤防は、土粒子間の空隙に水が満たされると空隙水圧が増加し、土のせん断強度が低下するため、堤防の安全性が低下すると記載されている。

一方、評価の低い材料を用いる場合の対策として、石灰系、セメント系などの改良材を添加して土質改良を行っているが、**完成後の堤体に乾燥収縮によるヘアークラックが発生することがある。したがって、室内試験による基礎的な検証を行い、工法を検討するのがよいと記載されている。**

## 2 . ボンテラン工法の改良手順

# 高含水比泥土とは



津波堆積物



浚渫土砂



建設汚泥



## 改良手順(その1) 原泥の状態





## 改良手順(その2) 古紙破碎物の投入・攪拌





## 改良手順(その3) 固化材の投入・攪拌



## 改良手順(その4) 敷均し・締固め

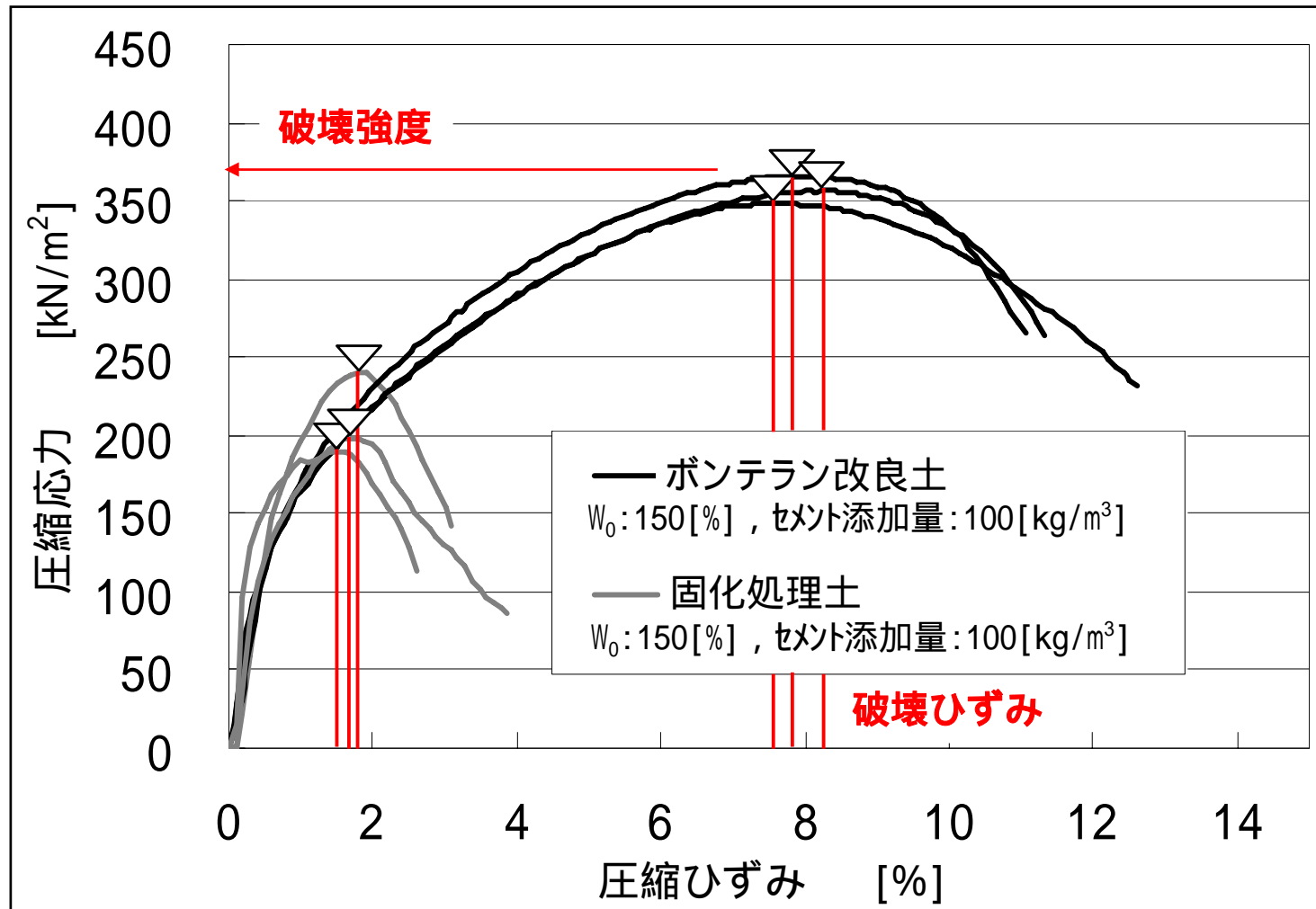
地震対策用人工地盤の造成  
硫化水素の発生を抑制  
塩分の不溶化



### 3 . ポンテラン改良土の特徴(その1)

## 優れた強度特性・変形特性

# 一軸圧縮試験における応力 - ひずみ曲線



高い破壊強度・破壊ひずみ



# 三軸試験 実験試料 実験方法および結果

実験には模擬泥水(シルト:粘土 = 60:40, 密度 = 2.623[g/cm<sup>3</sup>])を使用した。三軸圧縮試験は, JGS 0521-2000(地盤工学会基準)「土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験方法」に従って計測を行った。

表3-3 せん断強度一覧

	ケースNo.	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
材 料	初期含水比 $W_n$ [%]	105			150		
	固化材添加量[kg/m <sup>3</sup> ]	40	60	80	80	100	120
	古紙添加量 [kg/m <sup>3</sup> ]	50			65		
せん 断	粘着力 $C_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]	93.6	113	91.7	99.5	59.3	98.1
	内部摩擦角 $\delta$ [°]	32.4	36.4	41.6	33.1	41.3	36.8

## せん断強度について

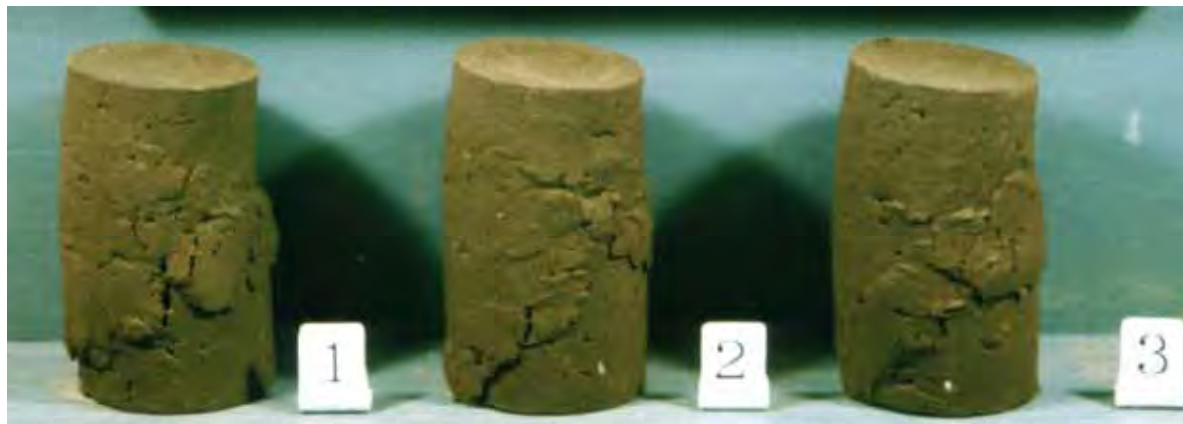
- 粘着力については、おおむね $90\text{kN/m}^2$ 以上の強度発現が確認された。
- 内部摩擦角については、何れのケースも $30^\circ$ 以上確保できた。
- 繊維質固化処理土は良好な粘性土又は良く締まった砂質土と同程度のせん断強度を同時に有する構造資材に改良しうる事が確認できた。

# 三軸圧縮試験後の試料の写真



明確な破壊  
面が存在

固化処理土



明確な破壊  
面が見られ  
ず、試料は  
樽型に変形

ボンテラン改良土

## 4 . ボンテラン改良土の特徴 (その2)

### 高い耐久性



# 乾湿繰り返し試験

## 実験方法

模擬泥水(シルト60[%], 粘土40[%]土粒子密度2.623[g/cm<sup>3</sup>])

### 乾湿繰返し(耐久性)試験

試験方法は独立行政法人 土木研究所編著 建設汚泥再生利用マニュアルPP219 ~ 220 乾湿繰返し試験方法に準拠した。

試験項目	試験方法		
	供試体	乾湿1サイクル	確認項目
乾湿繰返し試験	5 × 10 [cm]	40[ ]炉乾燥2日 20[ ]水浸1日の合計3日	所定サイクル終了後, 一軸圧縮試験(JIS A1216) 各サイクルの乾燥後, 水浸後に供試体の状況観察, 写真撮影

### 健全度ランク

	クラック状況	欠落状況
A	外見上, ほとんど変化なし	
B	微細クラック, 局部クラック発生	表面剥離が局部的に発生
C	明瞭なクラックが一部に発生	供試体の一部が僅に欠落
D	明瞭なクラックが全体に発生	供試体がより大きく欠落
E	供試体の一部または全体が崩落( ~ 20%程度)	
F	供試体が全体的に崩落, 崩壊. 供試体としての形は存在	
G	供試体全体が崩壊し, 片々は塊状	
H	供試体全体が崩壊し, 片々は細粒化 ~ 泥状化	

# 乾湿繰返し試験写真



**固化処理土 1**

(2サイクル終了時  $W_0 = 105[\%]$  固化材 $90[\text{kg}/\text{m}^3]$ )



**ポテンラン改良土 2**

(10サイクル終了時  $W_0 = 105[\%]$  固化材 $90[\text{kg}/\text{m}^3]$ )



**固化処理土 2**

(6サイクル終了時  $W_0 = 150[\%]$  固化材 $100[\text{kg}/\text{m}^3]$ )



**ポテンラン改良土 4**

(10サイクル終了時  $W_0 = 150[\%]$  固化材 $100[\text{kg}/\text{m}^3]$ )

# 水浸による耐久性比較



固化処理土

ボンテラン改良土

# 顕微鏡写真



固化処理土

ボンテラン改良土



## 改良イメージ図

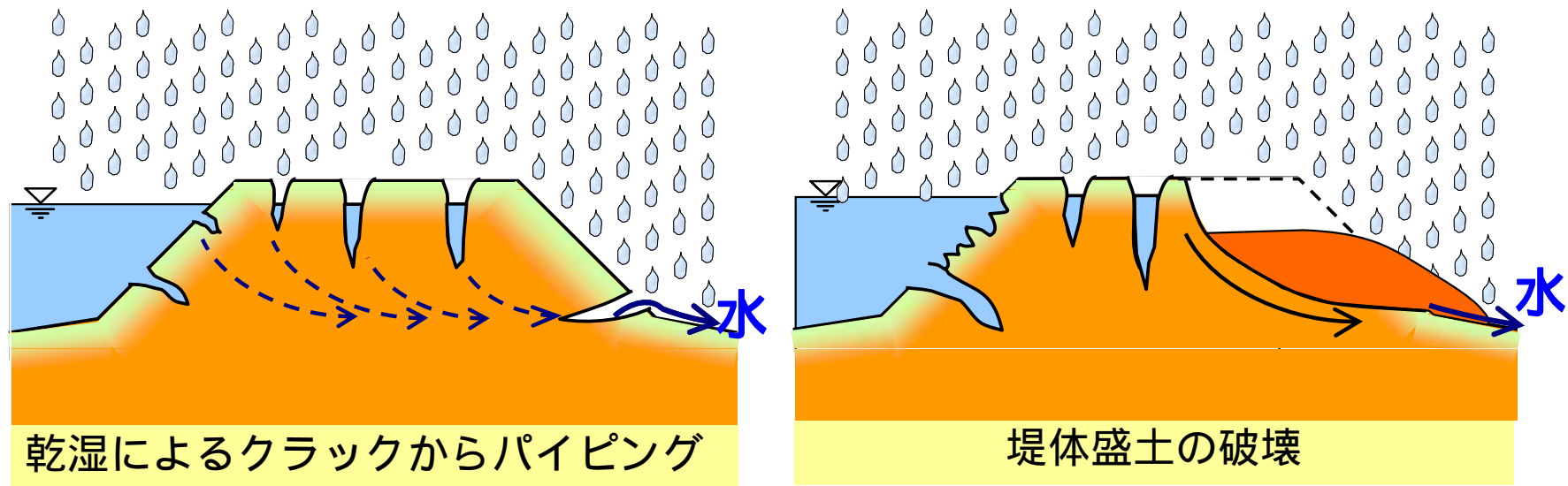


固化処理土



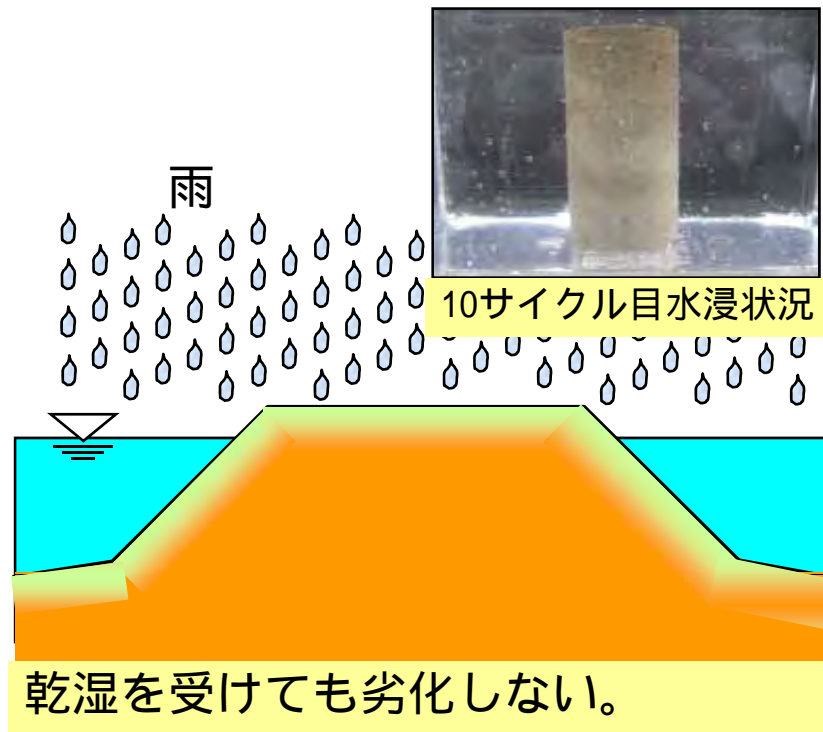
ボンテラン改良土

# 固化処理土を堤体材料として利用した場合の劣化と耐久性に関する問題点



固化処理土により造成された堤防は、**湿潤・乾燥等により発生した亀裂などから浸入した浸透水**により土粒子が移動して**パイピングを発生させ堤防の安定性を低下**させる場合がある。

# ボンテラン改良土を堤体材料として利用した場合の劣化耐久性と実績



浸水および長期にわたる乾湿繰返しを受けても一切劣化が無い。さらに東日本大震災における震度6強の地震に対しても液状化によるせん断破壊が発生していない。

## 5 . ボンテラン改良土の特徴 (その3)

### 高い動的強度

# 液状化現象とは？



液状化より浮き上がったマンホール



液状化により埋まってしまった自転車



# 繰返し三軸圧縮試験



ボンテラン改良土の耐震性に関しては動的強度について検討する必要があることから、繰返し三軸圧縮試験を実施。

円柱形の供試体の側面方向から一定の拘束圧をかけ、軸方向に繰返し荷重を加えることで、供試体中の間隙水圧の上昇具合を測定し、土の動的強度を評価する。

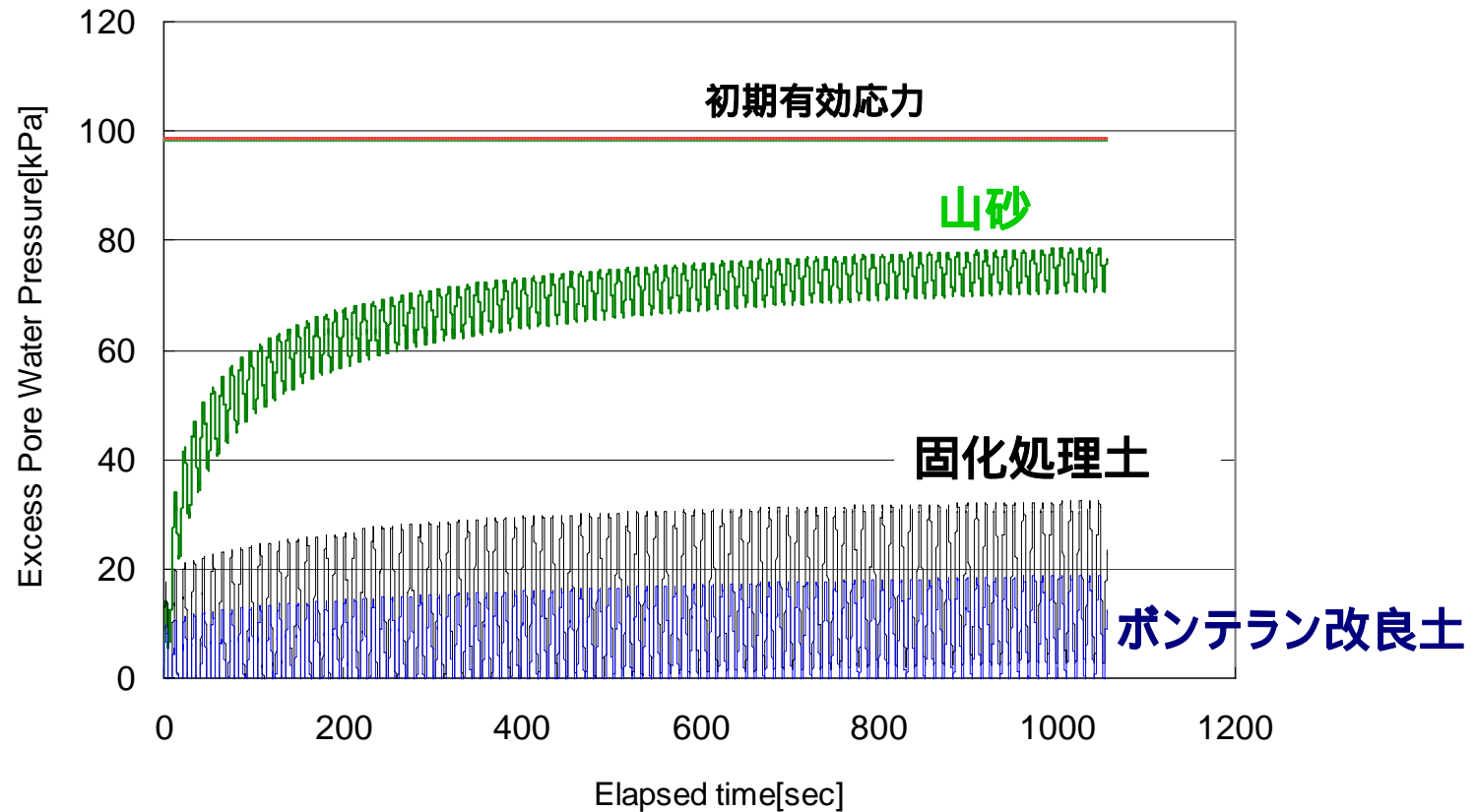
$$\begin{aligned} \text{有効応力} \quad \sigma' &= \\ \text{全応力} \quad \sigma &- \text{間隙水圧} u \\ \text{せん断強さ} \quad f &= \sigma' \tan \end{aligned}$$

# 繰返し三軸圧縮試験結果

低い

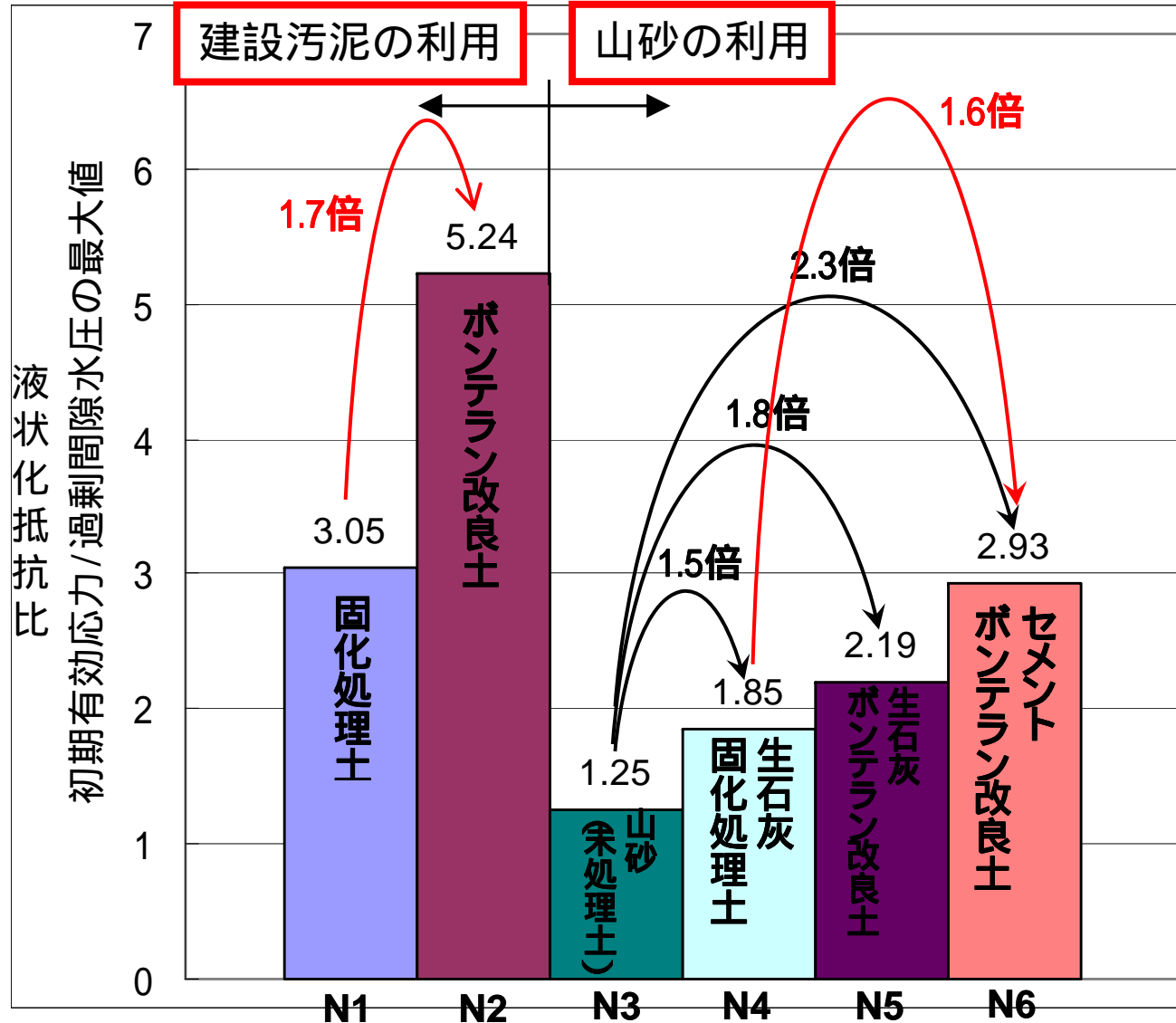
動的強度

高い



ボンテラン改良土は高い耐震性を有している

# 液状化抵抗力



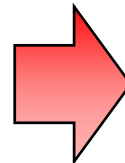
繰返し三軸圧縮試験における過剰間隙水圧の最大値/初期有効応力の関係図

## 6 . ボンテラン改良土の難透水性材料 としての評価

# ポンテラン改良土の難透水性改良土としての評価

工事名:平成18年度大江地区地域用水機能増進事業(山形県大江町発注)

改良前透水係数  
 $k=6.02 \times 10^{-5} \text{cm/s}$



改良後透水係数  
 $k=1.02 \times 10^{-6} \text{cm/s}$

改良前の原泥(ため池に堆積したヘドロ)



ポンテラン改良状況(自走式混合機使用)



改良土利用状況(前刃金土)



堤体内改良土の被覆(完成)



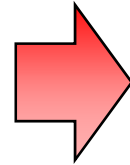


# ポンテラン改良土の難透水性改良土としての提案例

工事名:平成19年度 鴨島漏水対策第3工事(四国地整 徳島河川国道事務所発注)への提案

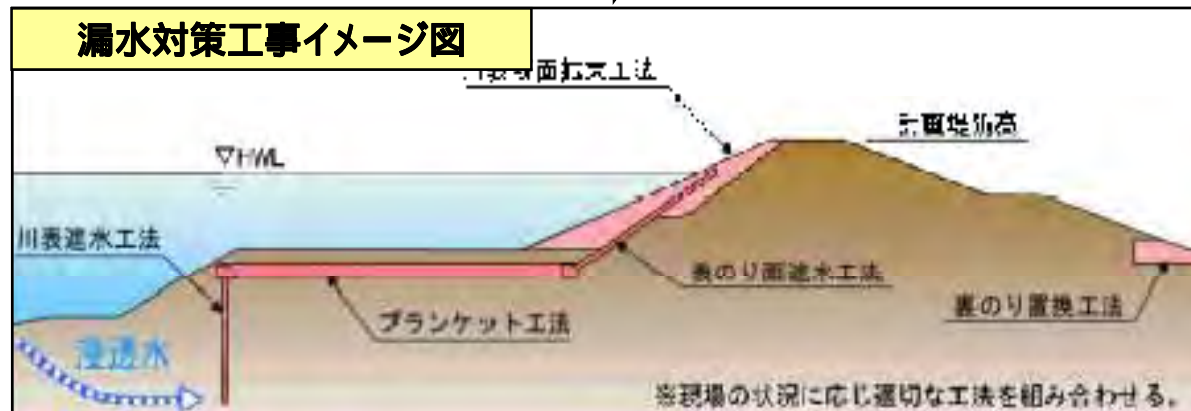
改良前透水係数

$$k=1.33 \times 10^{-5} \text{cm/s}$$



改良後透水係数

$$k=8.93 \times 10^{-7} \text{cm/s}$$



採取土(河川敷の砂礫)



分級後(9.5mm以下)改良対象



分級後(9.5mm以上)



## 7. 地震対策用地盤材料としての 実証現場(震災後状況確認)

# 芳賀池地区造成工事

**工事名** : 市街地水空間整備事業芳賀池地区造成工事  
**発注者** : 郡山市農地林務課  
**工期** : 平成16年9月～平成17年11月  
**改質量** : 11,360m<sup>3</sup>  
**含水比** : 約100%  
**改良目標** : 第3種改良土  
 (qc=400kN/m<sup>2</sup>以上)

**工事概要:**  
 郡山市街地にあるため池の「芳賀池」は、以前から堆積したヘドロの悪臭がひどく、多くの苦情が寄せられておりました。その対応策としてヘドロをポンテラン工法により改良し、親水公園の盛土材として全量再利用しました。現在は親水公園として近隣住民の憩いの場として利用されています。

施工前



攪拌状況





### 転圧状況



### 盛土完成(水に接し続けた状態で1年経過)



平成17年5月12日撮影

### 親水公園完成



平成19年10月3日撮影

### ポンテラン改良土による盛土箇所



液状化やクラック等の  
被災は一切無し

平成23年4月26日撮影、震災後状況確認

# 藤沼ダムの決壊

平成23年3月11日に発生した東日本大震災により、東北地方の河川堤防は甚大な被害を受けた。中でも震度6強が確認された福島県須賀川市にある藤沼では下に示す写真のとおり堤体が決壊し、約150万tの水が流出し、多くの樹木を巻き込んだ鉄砲水となって下流にある居住地域を襲い人命を失う大災害が発生した。

決壊した堤防(現地発生土にて築堤)



円弧滑り(現地発生土にて築堤)



平成23年4月26日撮影、震災後状況確認



# 浜尾遊水地

前述の藤沼ダムから直線距離で18kmにある浜尾遊水地では**現地発生土** (**良質土**)を堤体材料に利用した箇所では、下に示す写真のとおり、せん断破壊やクラック、液状化の発生が確認された。

現地発生土による築堤箇所



平成23年4月26日撮影、震災後状況確認

# 浜尾地区築堤工事

同じ浜尾遊水地において下に示す写真のとおり軟弱土が発生したためにポンテラン工法が採用された。

発注者 : 国土交通省東北地方整備局福島工事事務所  
工期 : 平成14年7月～平成15年3月  
改質量 : 3,000m<sup>3</sup>  
含水比 :  $W_0=80\%$   
工事概要 : 遊水地に堆積したヘドロをポンテラン工法で改良し、築堤盛土材として再利用しました。

軟弱土の状態



現場全景



敷均し・転圧





その結果、ポンテラン改良土を堤体材料に利用した箇所では下に示す写真のとおり被害箇所が確認されず、地震対策用地盤材料としての有効性が実証された。

築堤完了



平成15年10月24日撮影

大規模せん断破壊

舗装部も  
被災無し



平成23年4月26日撮影、震災後状況確認

## 8 . 河川堤防への利用事例

# 綾瀬川掘削工事

工事名 : H16綾瀬川掘削工事  
発注者 : 国土交通省関東地方整備局  
江戸川河川事務所  
工期 : 平成16年10月～平成17年6月  
改質量 : 20,100m<sup>3</sup>  
含水比 : 約50%

工事概要:  
河道断面確保の為、バックホウ浚渫船で綾瀬川のヘドロを掘削し、土運船にて改良場所の護岸まで運搬。護岸に待機していた攪拌用バックホウでヘドロを改良し、約16km離れた江戸川の高規格堤防の盛土材として再利用しました。

浚渫状況



原泥





土運船にて運搬



改良状況



再利用場所全景



敷均し・転圧状況



# 一日市地区他築堤工事

**工事名** : 一日市地区他築堤工事  
**発注者** : 国土交通省近畿地方整備局  
 豊岡河川国道事務所  
**工期** : 平成20年7月～平成22年3月  
**改質量** : 17,000m<sup>3</sup>  
**含水比** : 約60%

**工事概要:**  
 築堤箇所は軟弱地盤であったため、  
 CDM工法による地盤改良が計画された。  
 当初設計では、泥土は現場から30km離  
 れた残土受入れ施設に逆有償処理され  
 る計画だったが、泥土運搬に伴い発生す  
 るCO<sub>2</sub>の発生抑制や交通渋滞を緩和す  
 るため、本工法が採用された。

現場全景(着工前)



完成





汚泥排出状況



改良状況全景



敷均し状況



締固め状況



## 9 . 迅速な災害復旧に貢献

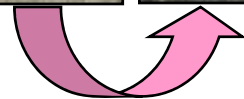
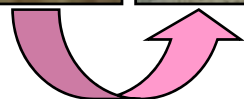


# 芋川河道閉塞緊急対策工事



**発注者** : 国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所

**工事概要** : 平成16年10月23日、新潟県中越地方で震度6強の地震が発生しました。新潟県小千谷市・旧山古志村・川口町・長岡市・堀之内町などでは、大きな揺れや地すべり・斜面崩壊により、住宅や道路・鉄道・河川施設などで大きな災害が発生しました。本工法は旧山古志村の災害復旧工事に採用され、土砂崩れ等で発生した現地の軟弱土砂を改良し、資材運搬路・仮設ヤード・国道291号迂回路に再利用し、迅速な災害復旧作業に貢献した。



**THANK YOU FOR YOUR ATTENTION**